

## 明細書

## マルチモード光伝送システム及びマルチモード光伝送方法

## 技術分野

[0001] 本発明は、光信号をマルチモード伝送するマルチモード光伝送システム及びマルチモード光伝送方法に関して、より特定的には、光信号をマルチモード伝送する際に発生する多モード分散による光伝送品質の劣化を軽減するマルチモード光伝送システム及びマルチモード光伝送方法に関する。

## 背景技術

[0002] 図9は、従来のマルチモード光伝送システムの構成を示すブロック図である。図9において、従来のマルチモード光伝送システムには、半導体レーザ901、フォトダイオード902、及びマルチモード光伝送路903を備える。導体レーザ901は、入力された電気信号を光信号に変換してマルチモード光伝送路903へ出力する。マルチモード光伝送路903は、半導体レーザ901から出力された光信号をフォトダイオード902へ伝送する。フォトダイオード902は、入力された光信号を電気信号に変換する。

[0003] 具体的には、マルチモード光伝送路903には、マルチモード光ファイバが用いられる。半導体レーザ901から出力された单一波長 $\lambda$ の光信号は、マルチモード光ファイバへ入力される。マルチモード光ファイバは、シングルモード光ファイバと比較してそのコア径が大きい為に、ファイバ中に光信号の伝搬経路が複数存在する。一般的には、シングルモード光ファイバのコア径が $10 \mu m$ 程度に対して、マルチモード光ファイバのコア径は $50 \mu m$ 程度である。

[0004] 伝搬経路の異なる光信号をそれぞれモードと呼ぶ。光ファイバへの入射角が最も小さいモードが基本モードである。基本モードにおいて、光信号は最短距離で伝送される。モードの次数が高くなるにつれて、光ファイバへの入射角が大きくなり、光の伝搬距離も長くなる。光ファイバの長手方向をz軸とすれば、波数kのz軸成分を伝搬定数 $\beta$ と呼び、 $\beta = k \cos \phi$ の関係が成立つ。ただし、z軸に対する光信号の角度を $\phi$ とする。従って、各モードはそれぞれ異なる伝搬定数を持ち、基本モードが最大の伝搬定数を持つことになる。フォトダイオード902には、全てのモードの光信号が

入力される。フォトダイオード902は、入力された全てのモードの光信号を電気信号に変換する。

- [0005] マルチモード光ファイバを用いたシステム(すなわち、マルチモード光伝送システム)は、光ファイバのコア径が大きい為、半導体レーザ901やフォトダイオード902などの周辺部品との結合に高い精度が要求されない。従って、マルチモード光伝送システムは、シングルモード光ファイバを用いたシステム(すなわち、シングルモード光伝送システム)と比較して安価に構築することができる。このため、現在、マルチモード光伝送システムは、企業内LANなどの比較的短距離で光信号を伝送するシステムに多く利用されている(非特許文献1参照)。

非特許文献1:三木哲也ほか、「光通信技術ハンドブック」、オプトロニクス社、pp. 199—pp. 201、2002(ISBN 4-900474-91-6)

非特許文献2:岡本勝就、「光導波路の基礎」、コロナ者、p83、図3. 12、1992(ISBN 4-339-00602-5)

### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、従来のマルチモード光伝送システムでは、マルチモード光ファイバで伝搬される光信号に含まれる複数のモードが、光信号の伝送品質に悪影響を与えることが既に知られている。その理由は、光信号の各モードがそれぞれ異なる群遅延時間を持つからである(非特許文献2参照)。図10は、従来のマルチモード光伝送システムにおける入力信号と出力信号との関係を説明する図である。図10(a)に示すような入力信号を半導体レーザ901に入力した場合、フォトダイオード902から出力される信号は、図10(b)に示すような波形広がりが生じた信号となる。この現象を多モード分散といい、マルチモード光ファイバを用いて高速伝送を行う際にクロストークや波形劣化の原因となる。

- [0007] それ故に、本発明の目的は、マルチモード光伝送路を用いて光信号を伝送する際に、多モード分散による影響を低減することができるマルチモード光伝送システムを提供することである。

#### 課題を解決するための手段

- [0008] 本発明は、入力された電気信号を光信号に変換して、変換した光信号をマルチモードで光伝送するマルチモード光伝送システムに向けられている。そして、上記目的を達成させるために、本発明のマルチモード光伝送システムは、複数の光源と、波長多重部と、マルチモード光伝送路と、複数の光信号抽出部と、複数の光受信部とを備える。複数の光源は、電気信号を互いに波長が異なる複数の光信号に変換して出力する。波長多重部は、複数の光源から出力された複数の光信号を波長多重して、波長多重信号として出力する。マルチモード光伝送路は、波長多重部から出力された波長多重信号をマルチモードで光伝送する。複数の光信号抽出部は、マルチモード光伝送路で伝送された波長多重信号から、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を抽出する。複数の光受信部は、複数の光信号抽出部で抽出された複数の光信号を受信して、受信した光信号を複数の電気信号に変換する。たたし、複数の光源が出力する光信号の波長は、それぞれの光源が出力する光信号の基本モードが有する伝搬定数と、他の光源が出力する光信号の高次モードが有する伝搬定数とが互いに異なるように設定される。
- [0009] 好ましくは、光信号抽出部は、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を反射する光反射部と、光反射部で反射された光信号を抽出する反射光信号抽出部とを含む。
- [0010] また、光信号抽出部は、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を反射する複数の光反射部と、複数の光反射部で反射された光信号を抽出する複数の反射光信号抽出部と、複数の反射光信号抽出部で抽出された複数の光信号に適当な遅延を与える複数の光遅延部と、複数の光遅延部を介して出力された複数の光信号を合波する合波部とを含むものであってもよい。
- [0011] また、光信号抽出部は、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する光フィルタであってもよい。あるいは、光信号抽出部は、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する複数の光フィルタと、複数の光フィルタによって透過された複数の光信号に適当な遅延を与える複数の光遅延部と、複数の光遅延部を介して出力された複数の光信号を合波する合波部とを含むものであってもよい。

- [0012] マルチモード光伝送路は、マルチモード光ファイバである。あるいは、マルチモード光伝送路は、シングルモード光ファイバであってもよい。ただし、シングルモード光ファイバを伝搬する光信号の波長は、シングルモード光ファイバのカットオフ周波数よりも小さいものとする。あるいは、マルチモード光伝送路は、複数の伝送経路を有する自由空間であってもよい。
- [0013] 光反射部は、ファイバプラググレーティングである。あるいは、光反射部は、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する光フィルタであってもよい。反射光信号抽出部は、光サーキュレータである。あるいは、反射光信号抽出部は、光カプラであってもよい。
- [0014] 光遅延部は、光導波路である。あるいは、光遅延部は、光伝送路の屈折率を変化させることで遅延量を調整してもよい。
- [0015] また、本発明は、入力された電気信号を光信号に変換して、変換した光信号をマルチモード光伝送するマルチモード光伝送方法にも向けられている。そして、上記目的を達成させるために、本発明のマルチモード光伝送方法は、複数の光源を用いて電気信号を互いに波長が異なる複数の光信号に変換して出力する光出力ステップと、光出力ステップによって出力された複数の光信号を波長多重して、波長多重信号として出力する波長多重ステップと、波長多重ステップによって出力された波長多重信号を、マルチモード光伝送路を介してマルチモード光伝送する光伝送ステップと、マルチモード光伝送路を介して伝送された波長多重信号から、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有する複数のモードの光信号を抽出する光信号抽出ステップと、光信号抽出ステップで抽出された複数の光信号を受信して、受信した光信号を複数の電気信号に変換する光受信ステップとを備える。ただし、光出力ステップが出力する光信号の波長は、それぞれの光源が出力する光信号の基本モードが有する伝搬定数と、他の光源が出力する光信号の高次モードが有する伝搬定数とが互いに異なるように設定されることを特徴とする。

### 発明の効果

- [0016] 本発明によれば、複数のモードを有する光信号の中から、ある特定のモードを有する光信号のみを抽出することができるため、複数のモードを有する光信号を二乗検波

した際に生じる多モード分散による光伝送品質の劣化を軽減することができる。また、複数の光源が output する光信号の波長を、それぞれの光源が output する光信号の基本モードが有する伝搬定数と、他の光源が output する光信号の高次モードが有する伝搬定数とが互いに一致しないように設定することで、クロストークによる受信信号の劣化を防ぐことができる。

- [0017] また、光信号抽出部が、複数の光反射部、複数の反射光信号抽出部、及び複数の光遅延部を含むことで、複数の光受信部は、総伝搬遅延量が一致した複数のモードの光信号を一括して二乗検波することができる。このため、本実施形態に係る光伝送システムは、多モード分散による光伝送品質の劣化を軽減できるだけでなく、モード抽出に伴う光伝送損失を最小限に抑えることができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0018] [図1]図1は、本発明の第1の実施形態に係るマルチモード光伝送システムの基本構成を示すブロック図である。
- [図2]図2は、本発明の第1の実施形態に係るモード処理部400の概要構成を示すブロック図である。
- [図3]図3は、本発明の第1の実施形態に係るモード処理部400の具体的な構成例を示すブロック図である。
- [図4]図4は、MMF中を伝搬する光信号の波長と伝搬定数( $\beta$ )との関係を示す図である。
- [図5]図5は、本発明の第2の実施形態に係るマルチモード光伝送システムの基本構成を示すブロック図である。
- [図6]図6は、本発明の第2の実施形態に係るモード処理部420の概要構成を示すブロック図である。
- [図7]図7は、本発明の第2の実施形態に係る光信号抽出部421の構成例を示すブロック図である。
- [図8]図8は、本発明の第2の実施形態に係る光信号抽出部421の具体的な構成例を示すブロック図である。
- [図9]図9は、従来のマルチモード光伝送システムの構成を示すブロック図である。

[図10]図10は、従来のマルチモード光伝送システムにおける入力信号と出力信号との関係を説明する図である。

### 符号の説明

- [0019] 101～10x 光源(半導体レーザ)  
200 光カプラ  
300 マルチモード光伝送路  
311、313 光伝送路  
311a、313a MMF  
331～33x 出力光伝送路  
331a～33xa MMF  
400、420 モード処理部  
411～41x、431～43m 反射光信号抽出部  
411a～41xa、431a～43ma サーキュレータ  
421～42x 光信号抽出部  
441 合波部  
441a 光カプラ  
451～45x、461～46m 光反射部  
451a～45xa、461a～46ma FBG  
471～47m 光遅延部  
471a～47ma 光遅延線  
501～50x 光受信部(フォトダイオード)

### 発明を実施するための最良の形態

- [0020] 以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。  
[0021] (第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係るマルチモード光伝送システムの基本構成を示すブロック図である。図1において、マルチモード光伝送システムは、複数の光源101～10x、光カプラ200、マルチモード光伝送路300、モード処理部400、及び複数の光受信部501～50xを備える。なお、例えば、光源101～10xには半導体レー

ザを、光受信部501～50xにはフォトダイオードを用いることができる。

- [0022] 半導体レーザ101～10xは、入力された電気信号を波長 $\lambda_1$ ～ $\lambda_x$ を有する光信号に変換する。半導体レーザ101～10xから出力された光信号は、光カプラ200へ入力される。光カプラ200は、入力された光信号を波長多重して波長多重信号として出力する。なお、光カプラ200は、光信号の波長を多重するので波長多重部と記してもよい。波長多重信号は、マルチモード光伝送路300によって伝搬され、モード処理部400へ入力される。モード処理部400は、波長多重信号から特定の伝搬定数を有する複数のモードの光信号を抽出する。モード処理部400で抽出された光信号は、それぞれフォトダイオード501～50xに入力される。フォトダイオード501～50xは、それぞれ入力された光信号を二乗検波し電気信号に変換する。
- [0023] ここで、モード処理部400の詳細について、図2及び図3を用いて説明する。図2は、本発明の第1の実施形態に係るモード処理部400の概要構成を示すブロック図である。図2において、モード処理部400は、反射光信号抽出部411～41x、光反射部451～45x、入力光伝送路311、出力光伝送路313、及び出力光伝送路331～33xを含む。なお、反射光信号抽出部41xおよび光反射部45xは、波長 $\lambda_x$ の光信号を抽出するための構成であるので、まとめて光信号抽出部としてもよい。また、光信号抽出部は、反射光信号抽出部41xおよび光反射部45xの代わりに、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する光フィルタを含む構成であってもよいものとする。
- [0024] 図3は、本発明の第1の実施形態に係るモード処理部400の具体的な構成例を示すブロック図である。図3において、モード処理部400は、例えば、反射光信号抽出部411～41xとしてサーチュレータ411a～41xaを、光反射部451～45xとしてFBG(ファイバーブラッギンググレーティング)451a～45xaを、入力光伝送路311としてMMF(マルチモード光ファイバ)311aを、出力光伝送路313としてMMF313aを、出力光伝送路331～33xとしてMMF331a～33xaを含むものとする。
- [0025] 図3を参照して、MMF331aへ入力された光信号(波長多重信号)は、サーチュレータ411aを経由してFBG451aへ入力される。FBG451aは、特定の伝搬定数 $\beta_{11}$ を有する光信号のみを反射して、その他の光信号を通過させる。伝搬定数 $\beta_{11}$ を有す

る反射光は、サーチュレータ411aを経由してMMF331aへ入力される。同様に、伝搬定数 $\beta_{12} \sim \beta_{1x}$ を有する光信号は、FBG452a～45xaで反射され、サーチュレータ412a～41xaを経由してMMF332a～33xaへ入力される。すなわち、モード処理部400は、FBG451a～45xaで反射する光信号の伝搬定数 $\beta_{11} \sim \beta_{1x}$ を、それぞれ波長 $\lambda_1 \sim \lambda_x$ の基本モードの伝搬定数に設定することで、波長多重信号から各波長の基本モードの光信号のみを抽出することができる。

- [0026] 図4は、MMF中を伝搬する光信号の波長と伝搬定数 $\beta_{mx}$ との関係を示す図である。ここでは、図4を用いて、波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ の光信号の基本モードを抽出する場合のモード処理部400の動作について具体的に説明する。なお、図4では、各波長の光信号について、基本モード( $m=0$ )から第7次の高次モード( $m=7$ )までの伝搬定数を計算した結果を示している。この計算では、MMFのパラメータとして、二乗屈折率分布を有するグレーデッドインデックス型、コア径として $50\mu\text{m}$ 、NAとして0.2を用いた。図4より、波長 $\lambda_1$ (850nm)の光信号をMMFによって光伝送した場合、基本モードの伝搬定数 $\beta_{11}$ は、約10935000(1/m)となり、モードの次数が高くなるに従って伝搬定数が小さくなる。
- [0027] 図4を参照して、複数のモードを有する波長 $\lambda_1$ 及び波長 $\lambda_2$ の光信号は、MMF311a及びサーチュレータ411aを介して、FBG451aに入力される。FBG451aは、 $\beta_{_{\text{FBG}}} = \pi / \Lambda$ を満たす伝搬定数を持つ光信号のみを反射する。ここで $\Lambda$ は、FBG451aにおける摂動(屈折率変化)の周期を表している。従って、FBG451aは、摂動の周期を適切に選ぶことによって、任意の伝搬定数を持った光信号(任意のモード)を反射させることができると、波長 $\lambda_1$ の基本モードの光信号のみを反射することができる。
- [0028] しかしながら、FBG451aは、特定の伝搬定数 $\beta_{11}$ に一致する光信号を全て反射するため、仮に $\lambda_1$ 以外の波長を有する光信号の高次モードが $\beta_{11}$ の伝搬定数を持つ場合には、波長 $\lambda_1$ の基本モードだけでなく、波長の異なる他の光信号の高次モードも同時に反射することになる。このような反射光を抽出してフォトダイオードで受信すると、受信信号のクロストークが劣化する。そこで、本実施形態では、受信信号のクロストークを劣化させないために、光源(半導体レーザ101～10x)の波長を次の

ように設定する。例えば、波長  $\lambda_1$  及び波長  $\lambda_2$  の光信号を波長多重する場合、波長  $\lambda_1$  の高次モードの伝搬定数と波長  $\lambda_2$  の基本モードの伝搬定数とが重ならないよう に、波長  $\lambda_1$  及び波長  $\lambda_2$  を設定する。

- [0029] 具体的には、波長  $\lambda_x$  を有する光信号がマルチモード光ファイバを伝搬することによって生じる第m番目のモードに対する伝搬定数を  $\beta_{mx}$  とすると、式(1)の関係を満たすように波長  $\lambda_1$  及び波長  $\lambda_2$  を設定する。ただし、mは、1以上の任意の整数である。すなわち、波長  $\lambda_2$  の基本モードの伝搬定数が波長  $\lambda_1$  の高次モードの伝搬定数と重ならないように波長  $\lambda_1$  及び波長  $\lambda_2$  を設定する。特に、式(2)の関係が成り立つように、波長  $\lambda_1$  及び波長  $\lambda_2$  を設定することで、波長  $\lambda_1$  と波長  $\lambda_2$ との光信号の間で発生するクロストークを最小にすることができます。

$$\beta_{m1} > \beta_{12} > \beta_{(m+1)1} \quad \cdots (1)$$

$$\beta_{12} = (\beta_{m1} + \beta_{(m+1)1}) / 2 \quad \cdots (2)$$

- [0030] なお、光ファイバを伝搬する光信号の伝搬定数  $\beta_{mx}$  は、近似的に式(3)～(6)で表すことができる。ここで、波長  $\lambda_x$  の光信号の全モード数を  $N(\lambda_x)$ 、光ファイバの規格化周波数を  $\nu$ 、光ファイバの比屈折率差を  $\Delta$ 、光ファイバのコア屈折率を  $n_1$ 、光ファイバのクラッド屈折率を  $n_0$ 、光ファイバのコア半径を  $r$ 、光ファイバのコア屈折率分布形状を  $\alpha$  とする。

$$\beta_{mx} = \frac{2\pi}{\lambda_x} \cdot n_1 \cdot \sqrt{1 - 2\Delta \left( \frac{m}{N(\lambda_x)} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+2}}} \quad \cdots (3)$$

$$N(\lambda_x) = \frac{\alpha}{\alpha+2} \cdot \frac{\nu^2}{2} \quad \cdots (4)$$

$$\nu = \frac{2\pi}{\lambda_x} \cdot n_1 \cdot r \cdot \sqrt{2\Delta} \quad \cdots (5)$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_0^2}{2 \cdot n_1^2} \quad \cdots (6)$$

- [0031] なお、上述した説明では、波長  $\lambda_1$  及び波長  $\lambda_2$  の光信号だけについて述べたが、

マルチモード光伝送システムは、波長数が増えた場合も同様に、光源が出力する光信号の波長を設定するものとする。具体的には、マルチモード光伝送システムは、ある光信号の基本モードの伝搬定数と、他の光信号の高次モードの伝搬定数とが重ならないように各光源が出力する光信号の波長を設定する。このように、光源の波長を設定することで、マルチモード光伝送路を用いた場合においても、光伝送品質を劣化させることなく波長多重伝送が可能となる。

- [0032] また、マルチモード光伝送システムは、光ファイバの何からのパラメータを調整することで光ファイバが有する伝搬定数を変更して、ある光信号の基本モードの伝搬定数と、他の光信号の高次モードの伝搬定数とが重ならないようにしてもよい。
- [0033] また、マルチモード光伝送システムは、ある光信号の基本モードの伝搬定数と、他の光信号の高次モードの伝搬定数とが近い場合には、基本モードの光信号のみを抽出できるように、FBG451a～45xaの反射帯域の幅を調整してもよい。
- [0034] また、上述した説明では、モード処理部400が波長多重信号の基本モードのみを抽出する場合について述べたが、モード処理部400が抽出できるモードは基本モードだけに限るものではない。
- [0035] また、反射光信号抽出部411～41xには、サーキュレータ411a～41xaの代わりに光カプラを用いてもよい。また、光反射部451～45xには、FBG451a～45xaの代わりに、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する光フィルタを用いてもよい。
- [0036] また、光源101～10xとして短波長光源を用いることで、マルチモード光伝送路300には、シングルモード光ファイバを用いてもよいものとする。すなわち、シングルモード光ファイバのカットオフ波長よりも短い波長の光信号をシングルモード光ファイバへ入射した場合、シングルモード光ファイバ中を伝搬する光信号には複数の伝搬モードが生じる。例えば、現在広く普及している1.31 μm帯零分散シングルモード光ファイバ(SMF)のカットオフ波長は1.2 μm付近にあるため、光源101～10xに0.85 μm帯短波長光源を用いると、シングルモード光ファイバ中を伝搬する光信号には複数の伝搬モードが生じる。一般的に短波長光源のコストは長波長光源よりも安い為、SMFと短波長光源とを組み合わせることにより、従来のSMFと長波長光源とを

用いた場合と比較して、システム全体のコストを安くすることができる。

- [0037] また、マルチモード光伝送路300は、マルチモード光ファイバ又はシングルモード光ファイバの代わりに、複数の伝搬経路を有する自由空間であってもよいものとする。
- [0038] 以上のように、本発明の第1の実施形態に係る光伝送システムによれば、複数のモードを有する光信号の中から、ある特定のモードを有する光信号のみを抽出することができるため、複数のモードを有する光信号を二乗検波した際に生じる多モード分散による信号品質の劣化を軽減することができる。また、複数の光源が output する光信号の波長を、それぞれの光源が output する光信号の基本モードが有する伝搬定数と、他の光源が output する光信号の高次モードが有する伝搬定数とが互いに一致しないように設定することで、クロストークによる受信信号の劣化を防ぐことができる。

[0039] (第2の実施形態)

図5は、本発明の第2の実施形態に係るマルチモード光伝送システムの基本構成を示すブロック図である。図5において、第2の実施形態に係るマルチモード光伝送システムは、モード処理部420のみが第1の実施形態と異なる。第1の実施形態に係るモード処理部400は、单一波長の光信号から單一モード(基本モード)の光信号しか抽出しなかった。これに対して、第2の実施形態に係るモード処理部420は、单一波長の光信号から複数モードの光信号を抽出することができる。これによって、第2の実施形態に係るモード処理部420は、モード処理に伴う光損失を最小限に抑えることが可能となる。

- [0040] 図6は、本発明の第2の実施形態に係るモード処理部420の概要構成を示すブロック図である。図6において、モード処理部420は、光信号抽出部421～42x、入力光伝送路311、出力光伝送路313、及び出力光伝送路331～33xを含む。光信号抽出部421～42xは、波長  $\lambda_1$ ～ $\lambda_x$  の光信号から、それぞれ複数モードの光信号を抽出する。
- [0041] ここで、光信号抽出部421～42xの詳細について、図7及び図8を用いて説明する。図7は、本発明の第2の実施形態に係る光信号抽出部421の構成例を示すブロック図である。図7において、光信号抽出部421は、反射光信号抽出部431～43m、光

反射部461～46m、光遅延部471～47m、合波部441、及び出力光伝送路331を有する。図8は、本発明の第2の実施形態に係る光信号抽出部421の具体的な構成例を示すブロック図である。図8において、光信号抽出部421は、例えば、反射光信号抽出部431～43mとしてサーキュレータ431a～43maを、光反射部461～46mとしてFBG461～46maを、光遅延部471～47mとして光ファイバなどによる光遅延線471a～47maを、合波部441として光カプラ441aを、出力光伝送路331として光ファイバ331aを有する。

- [0042] 図8を参照して、光信号抽出部421は、波長 $\lambda_1$ の光信号から複数モードの光信号を抽出する。具体的には、MMF311aへ入力された光信号は、サーキュレータ431aを経由してFBG461aへ入力される。FBG461aは、伝搬定数 $\beta_{11}$ を持つ光信号を反射するように設計されている。従って、伝搬定数 $\beta_{11}$ を持つ光信号のみがサーキュレータ431aを経由して、光遅延線471aへ入力される。伝搬定数 $\beta_{11}$ 以外の光信号は、FBG461a及びサーキュレータ432aを介してFBG462aへ入力される。同様に、伝搬定数 $\beta_{21} \sim \beta_{m1}$ までの光信号は、各FBGによって反射され、光遅延線472a～47maへ入力される。光遅延線472a～47maでは、伝搬定数 $\beta_{21} \sim \beta_{m1}$ を持つ光信号に適当な遅延を与え、全てのモードの伝搬遅延量を揃える。伝搬遅延量が一致した全ての光信号は、光カプラ441aによって足し合わされ、光ファイバ331aから出力される。
- [0043] なお、光信号抽出部421は、反射光信号抽出部431～43m、及び光反射部461～46mの代わりに、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する複数の光フィルタを含む構成であってもよいものとする。
- [0044] また、上述した説明では、光信号の遅延処理及び合波処理を光の領域で行ったが、光信号を一旦電気信号に変換した後で、電気の領域で遅延処理及び合波処理を行なってもよいものとする。
- [0045] 以上のように、本発明の第2の実施形態に係るマルチモード光伝送システムによれば、光信号抽出部421～42xが、複数の光反射部461～46m、複数の反射光信号抽出部431～43m、及び複数の光遅延部471～47mを含むことで、光受信部501～

50xは、総伝搬遅延量が一致した複数のモードの光信号を一括して二乗検波することができる。このため、本実施形態に係るマルチモード光伝送システムは、多モード分散による光伝送品質の劣化を軽減できるだけでなく、モード抽出に伴う光伝送損失を最小限に抑えることが出来る。

### 産業上の利用可能性

[0046] 本発明のマルチモード光伝送システムは、光信号をマルチモード伝送するシステム等に有用である。

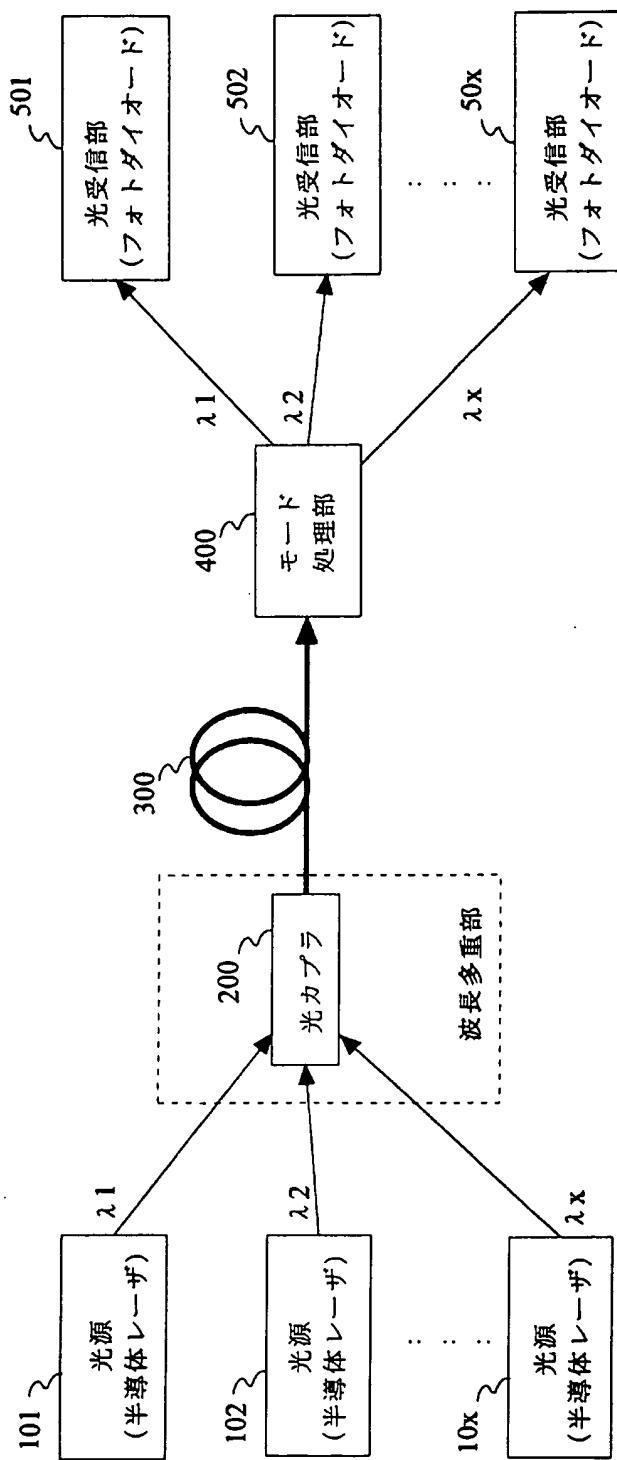
## 請求の範囲

- [1] 入力された電気信号を光信号に変換して、当該変換した光信号をマルチモード光伝送するマルチモード光伝送システムであって、  
前記電気信号を互いに波長が異なる複数の光信号に変換して出力する複数の光源と、  
前記複数の光源から出力された複数の光信号を波長多重して、波長多重信号として出力する波長多重部と、  
前記波長多重部から出力された波長多重信号をマルチモードで光伝送するマルチモード光伝送路と、  
前記マルチモード光伝送路で伝送された波長多重信号から、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を抽出する複数の光信号抽出部と、  
前記複数の光信号抽出部で抽出された光信号を受信して、当該受信した光信号を電気信号に変換する複数の光受信部とを備え、  
前記複数の光源が出力する光信号の波長は、それぞれの光源が出力する光信号の基本モードが有する伝搬定数と、他の光源が出力する光信号の高次モードが有する伝搬定数とが互いに異なるように設定される、マルチモード光伝送システム。
- [2] 前記光信号抽出部は、  
特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を反射する光反射部と、  
前記光反射部で反射された光信号を抽出する反射光信号抽出部とを含む、請求項1に記載のマルチモード光伝送システム。
- [3] 前記光信号抽出部は、  
特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を反射する複数の光反射部と、  
前記複数の光反射部で反射された光信号を抽出する複数の反射光信号抽出部と、  
前記複数の反射光信号抽出部で抽出された複数の光信号に適当な遅延を与える複数の光遅延部と、  
前記複数の光遅延部を介して出力された複数の光信号を合波する合波部とを含む

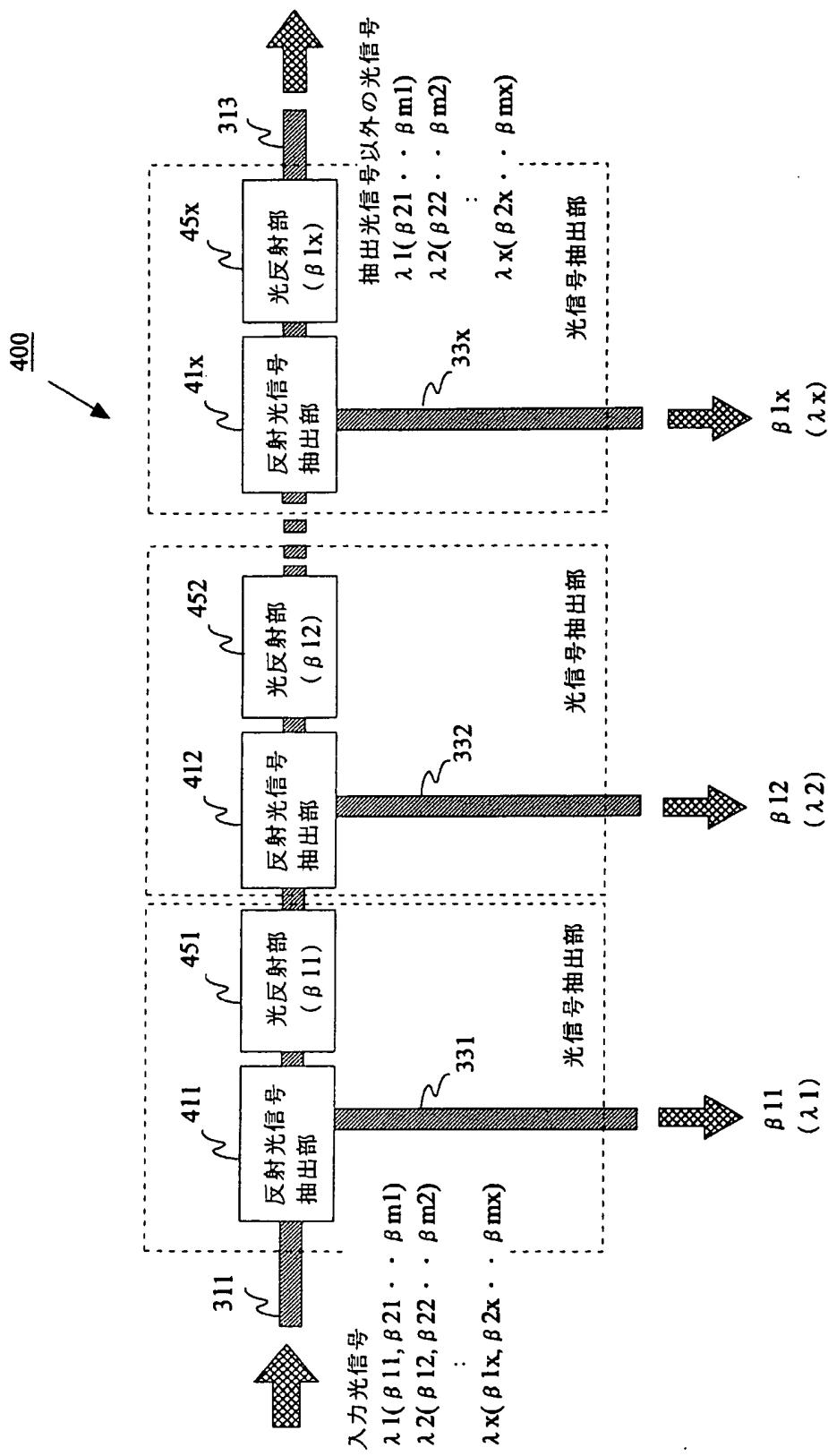
- 、請求項1に記載のマルチモード光伝送システム。
- [4] 前記光信号抽出部は、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する光フィルタである、請求項1に記載のマルチモード光伝送システム。
- [5] 前記光信号抽出部は、  
特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する複数の光フィルタと、  
前記複数の光フィルタによって透過された複数の光信号に適当な遅延を与える複数の光遅延部と、  
前記複数の光遅延部を介して出力された複数の光信号を合波する合波部とを含む、請求項1に記載のマルチモード光伝送システム。
- [6] 前記マルチモード光伝送路は、マルチモード光ファイバである、請求項1～3のいずれかに記載のマルチモード光伝送システム。
- [7] 前記マルチモード光伝送路は、シングルモード光ファイバであり、  
前記シングルモード光ファイバを伝搬する光信号の波長は、前記シングルモード光ファイバのカットオフ周波数よりも小さい、請求項1～3のいずれかに記載のマルチモード光伝送システム。
- [8] 前記マルチモード光伝送路は、複数の伝送経路を有する自由空間である、請求項1～3のいずれかに記載のマルチモード光伝送システム。
- [9] 前記光反射部は、ファイバブランググレーティングである、請求項2又は3のいずれかに記載のマルチモード光伝送システム。
- [10] 前記光反射部は、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有するモードの光信号を透過し、それ以外の光信号を反射する光フィルタである、請求項2又は3のいずれかに記載のマルチモード光伝送システム。
- [11] 前記反射光信号抽出部は、光サーチュレータである、請求項2又は3のいずれかに記載のマルチモード光伝送システム。
- [12] 前記反射光信号抽出部は、光カプラである、請求項2又は3のいずれかに記載のマルチモード光伝送システム。

- [13] 前記光遅延部は、光導波路である、請求項3に記載のマルチモード光伝送システム。
- [14] 前記光遅延部は、光伝送路の屈折率を変化させることで遅延量を調整する、請求項3に記載のマルチモード光伝送システム。
- [15] 入力された電気信号を光信号に変換して、当該変換した光信号をマルチモード光伝送するマルチモード光伝送方法であって、  
複数の光源を用いて前記電気信号を互いに波長が異なる複数の光信号に変換して出力する光出力ステップと、  
前記光出力ステップによって出力された複数の光信号を波長多重して、波長多重信号として出力する波長多重ステップと、  
前記波長多重ステップによって出力された波長多重信号を、マルチモード光伝送路を介してマルチモード光伝送する光伝送ステップと、  
前記マルチモード光伝送路を介して伝送された波長多重信号から、特定の波長かつ特定の伝搬定数を有する複数のモードの光信号を抽出する光信号抽出ステップと  
、  
前記光信号抽出ステップで抽出された複数の光信号を受信して、当該受信した光信号を複数の電気信号に変換する光受信ステップとを備え、  
前記光出力ステップが output する光信号の波長は、それぞれの光源が output する光信号の基本モードが有する伝搬定数と、他の光源が output する光信号の高次モードが有する伝搬定数とが互いに異なるように設定される、マルチモード光伝送方法。

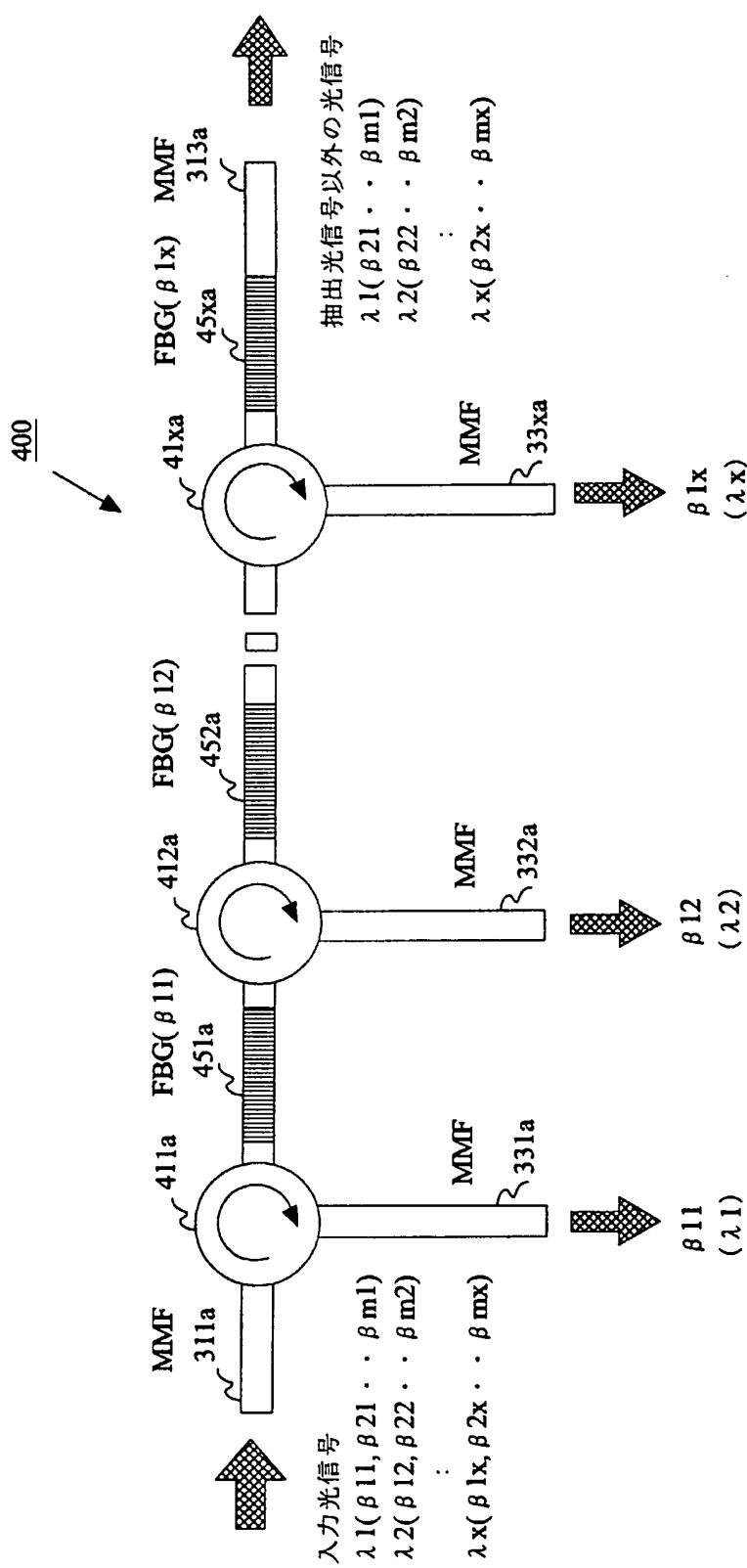
[図1]



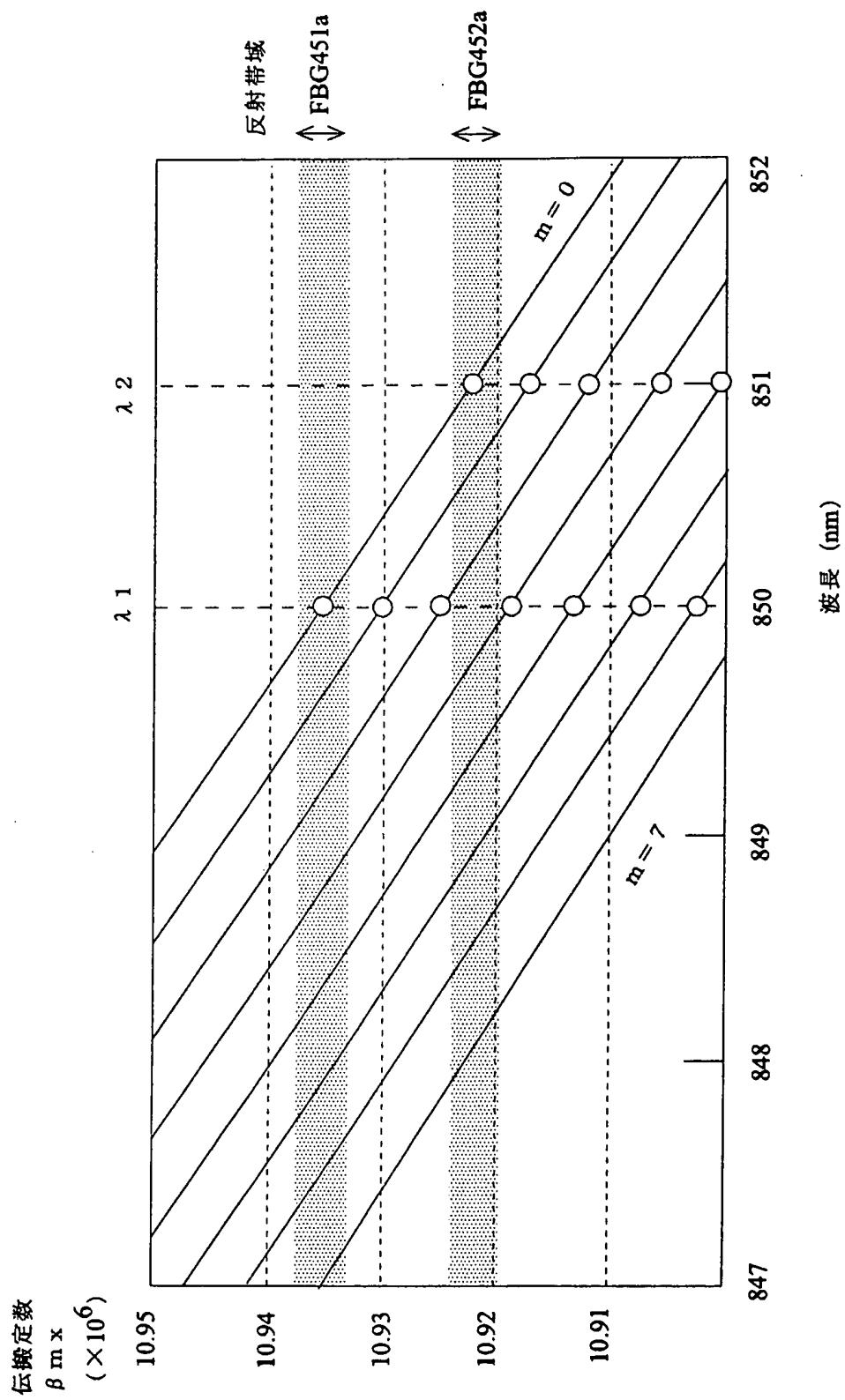
[図2]



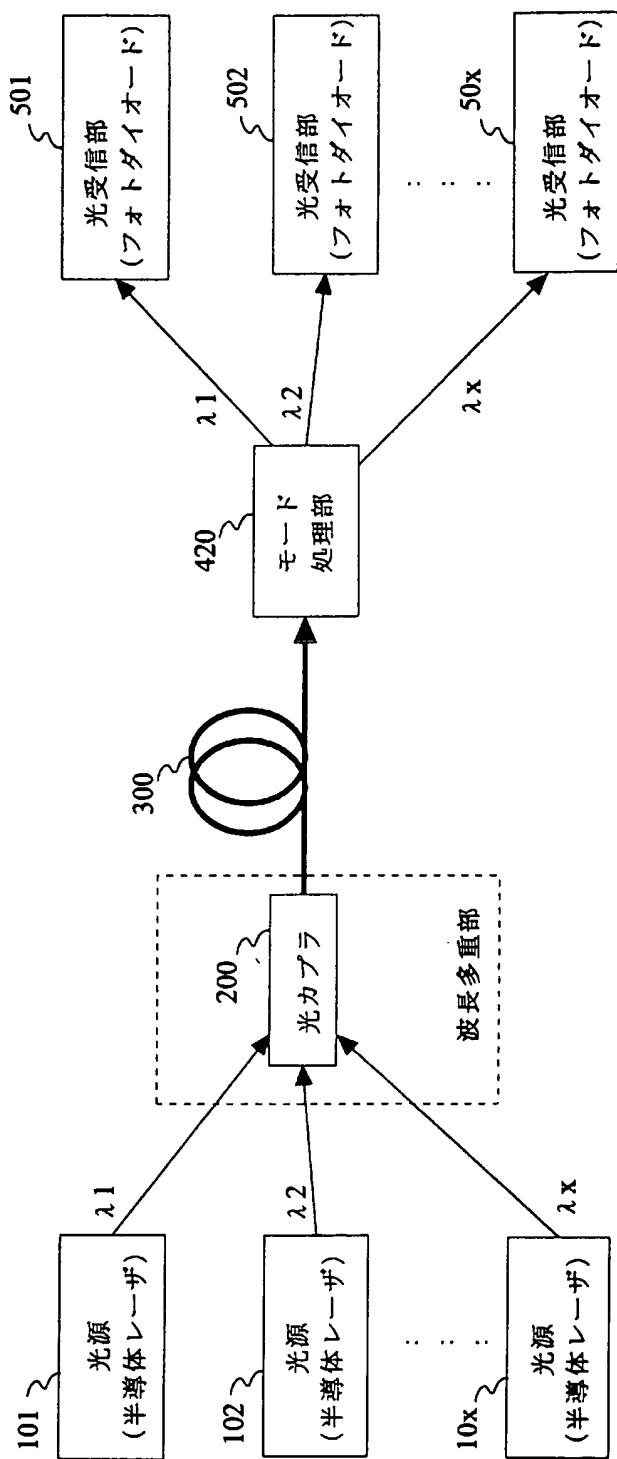
[図3]



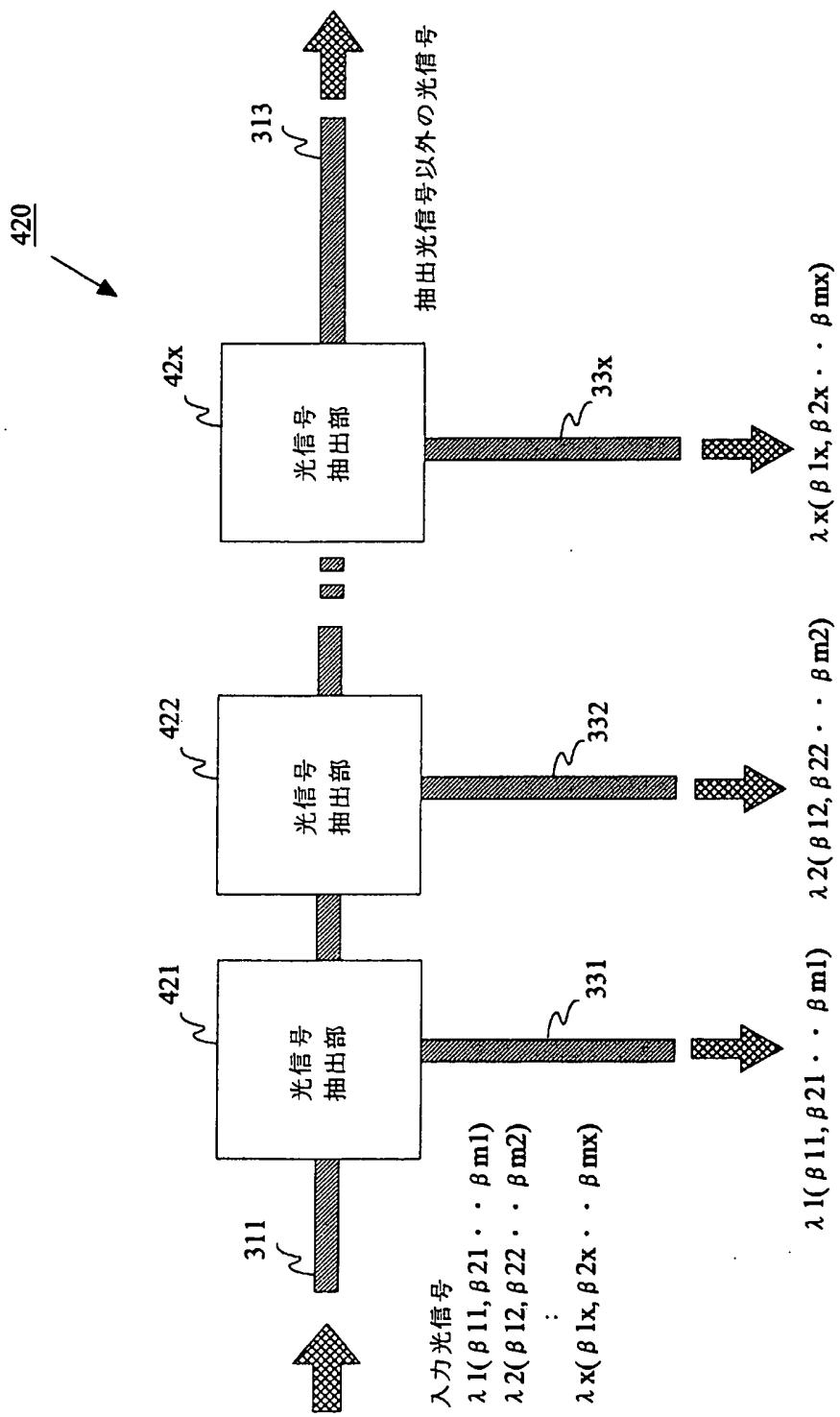
[図4]



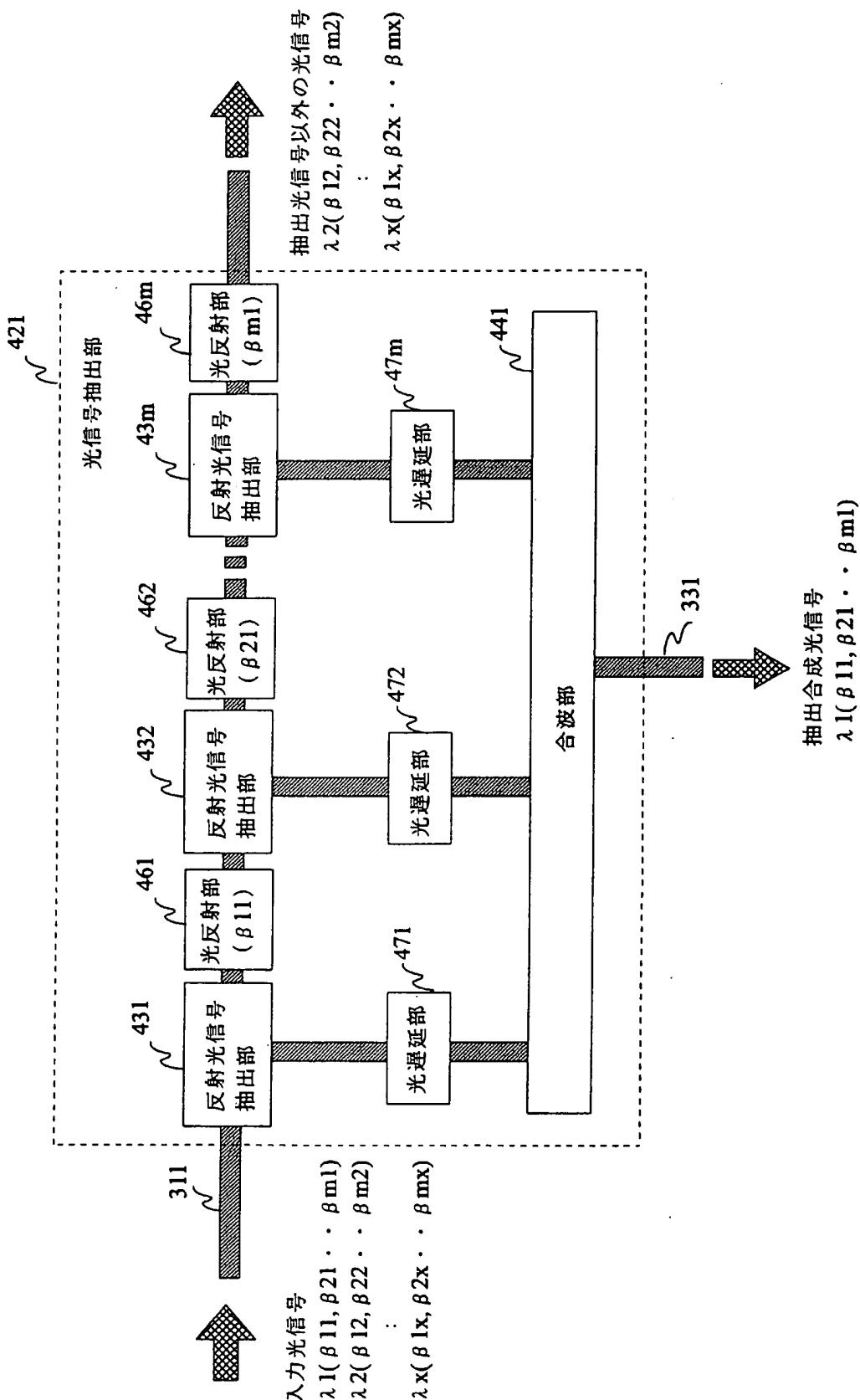
[図5]



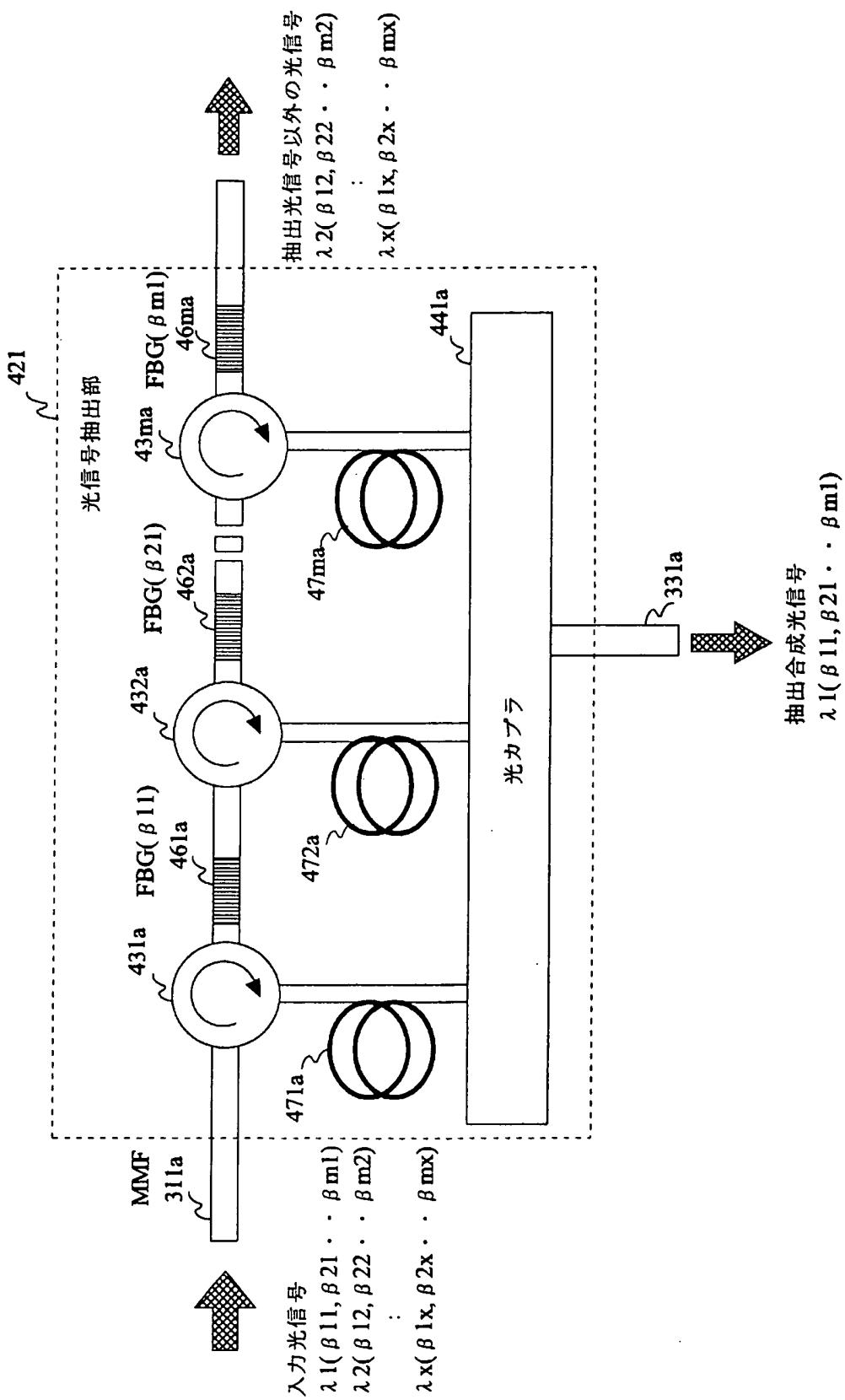
[図6]



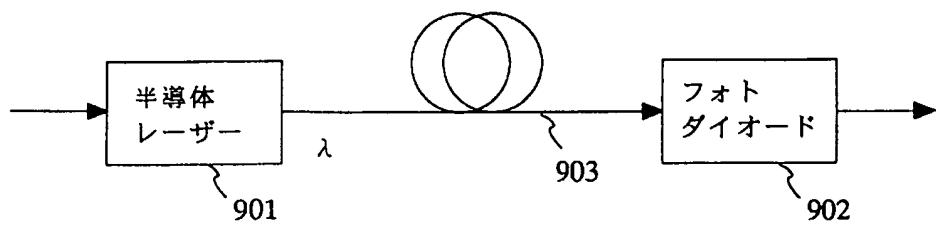
[図7]



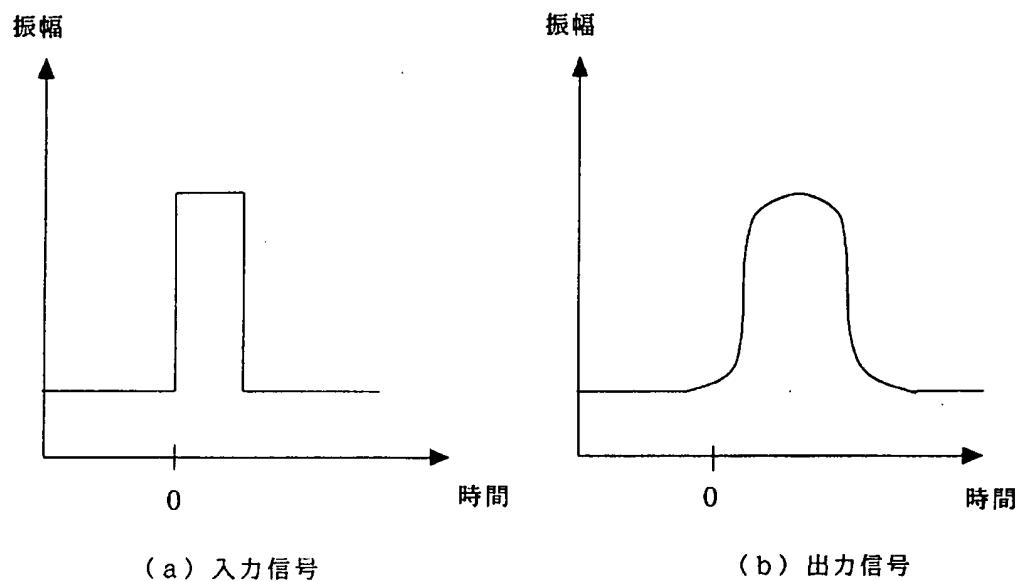
[図8]



[図9]



[図10]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/013572

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H04B10/02, 10/18, H04J14/00, 14/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-228895 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 14 August, 2002 (14.08.02), Par. Nos. [0066], [0084]; Fig. 9 & US 2002/0105704 A1	1-15
A	JP 08-122586 A (Fujitsu Ltd.), 17 May, 1996 (17.05.96), Par. No. [0027]; Fig. 1 (Family: none)	1-15
A	JP 10-239566 A (Mitsubishi Rayon Co., Ltd.), 11 September, 1998 (11.09.98), Par. Nos. [0001], [0012] to [0016]; Fig. 1 to 4 (Family: none)	1-15

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
17 August, 2005 (17.08.05)Date of mailing of the international search report  
30 August, 2005 (30.08.05)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP2005/013572

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-227935 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 25 August, 1998 (25.08.98), Par. Nos. [0020], [0025]; Figs. 3, 4 (Family: none)	1-15

## A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/02, 10/18, H04J14/00, 14/02

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H04B10/00-10/28, H04J14/00-14/08

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

## 国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-228895 A(松下電器産業株式会社) 2002.08.14, 第66、84段落目、図9 & US 2002/0105704 A1	1-15
A	JP 08-122586 A(富士通株式会社) 1996.05.17, 第27段落目、図1(ファミリなし)	1-15
A	JP 10-239566 A(三菱レイヨン株式会社) 1998.09.11, 第1、12-16段落目、図1-4(ファミリなし)	1-15

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 17.08.2005	国際調査報告の発送日 30.8.2005
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員) 岡本 正紀 電話番号 03-3581-1101 内線 3536 5J 3138

C(続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 10-227935 A(日本電信電話株式会社) 1998.08.25, 第20、25段落目、図3、4 (ファミリなし)	1-15